



УДК 621.314.22.08

ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ В МАСЛЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 110-220 кВ**INVESTIGATIONS OF FACTORS INFLUENCING THE RESULTS OF THE DISSOLVED GASES ANALYSIS IN OIL INSTRUMENT TRANSFORMERS OF 110-220 kV**

Кузина Татьяна Сергеевна, магистрант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: T.S.Kuzina@yandex.ru, Тел.: +7(952)136-28-03

Давиденко Ирина Васильевна, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: inguz21@yandex.ru. Тел.: +7(922)619-19-88

Tatyana S. Kuzina, Master student, Department «Electric Machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: T.S.Kuzina@yandex.ru. Ph.: +7(952)136-28-03

Irina V. Davidenko, Doctor Sc., Prof., Department « Electric Machines », Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. Email: inguz21@yandex.ru. Ph.: +7(922)619-19-88

Аннотация: На сегодняшний день одним из информативных методов идентификации дефекта в маслонаполненных измерительных трансформаторах (ИТ) является анализ растворенных в масле газов (АРГ). но, к сожалению, требования к выполнению этого анализа для данного вида оборудования не включены в руководящие документы. В настоящей статье приведены результаты дисперсионного анализа влияния конструктивных особенностей и срока эксплуатации на массив результатов АРГ, полученных при эксплуатации ИТ для определения влияния класса напряжения, наработки, марки масла и типа трансформатора на концентрации растворенных в масле газов. Данное исследование проводилось в рамках НИР по разработки стандарта взамен РД [1]. Целью работы является создание системы критериев оценки результатов АРГ ИТ.

Abstract: To date, one of the informative methods of defect identification in oil-filled measuring transformers (it) is the analysis of dissolved gases (ARG). unfortunately, the requirements for this analysis for this type of equipment are not included in the guidance documents. This article presents the results of the analysis of the dispersion effect of design features and service life on the array of ARG results obtained in the operation of it to determine the effect of voltage class, operating time, oil grade and type of transformer on the concentration of dissolved gases in the oil. This study was conducted within the research to develop a standard instead of RD [1]. The aim of the work is to create a system of criteria for assessing the results of ARG it.

Ключевые слова: анализ растворенных газов; измерительные трансформаторы; трансформатор тока; трансформатор напряжения.

Key words: dissolved gases analysis; instrument transformers; current transformer; voltage transformer.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Общепризнанно, анализ газов в масле (АРГ) один из чувствительных и точных методов оценки состояния маслонаполненного оборудования. Этот метод достаточно давно используется как за рубежом и у нас так используется в эксплуатации для диагностики состояния измерительных трансформаторов (ИТ) несмотря на то, что требования к выполнению этого анализа не включены в РД [1]. Поскольку до настоящего

времени отсутствуют российские нормативы предельно-допустимого содержания газов в масле работающих ИТ. Иногда заключение по результатам АРГ ИТ в эксплуатации дается на основании зарубежного опыта (Стандарт МЭК [2]) или российских норм для силовых трансформаторов и вводов РД [3]. По нашему мнению, такой подход является неверным и необоснованным. Так же стоит отметить, что часть энергосистем используют свои методические указания (например, [5]). По моему

мнению, такой подход является неверным и необоснованным. Поскольку зарубежные ИТ отличаются от российских ИТ конструктивными особенностями, соотношением масс «бумага-масло», режимами и условиями работы.

Также, по данным российских авторов [4, 5] и опыта, накопленного в энергопредприятиях, граничные значения для ИТ разных конструкций и классов напряжения могут быть различными и значительно отличаются от нормативов, предлагаемых в [2, 3]. Таким образом, на сегодняшний день стоит задача в установлении граничных концентраций газов в масле работающих ИТ.

В данном исследовании приведены результаты дисперсионного анализа влияния конструктивных особенностей, марки масла и срока эксплуатации на массив результатов АРГ для создания системы критериев оценки результатов АРГ ИТ

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ С РЕЗУЛЬТАТАМИ АРГ для ИТ ПО ЭНЕРГОСИСТЕМАМ РФ

В качестве исходных данных использовались результаты испытаний трансформаторного масла, взятого из трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН) различных энергосистем, собранных в базе данных экспертной системы «ЭДИС Альбатрос» за 24 года ее эксплуатации. Кроме того, были добавлены данные полученные от филиалов ПАО «Россети» в ходе выполнения НИР [] (отчет НИР).

В начале расчета была проведен анализ полученных данных парка ИТ, в результате которой было принято решение выполнять расчет для следующих позиций:

- ТТ типа ТФЗМ 110 кВ (мощность выборки 23468 результатов измерений);+
- ТТ «не ТФЗМ» 110 кВ (мощность выборки 3222 результатов измерений);
- ТН типа НКФ 110 кВ (мощность выборки 13330 результатов измерений);+
- ТН типа НАМИ 110 кВ (мощность выборки 1644 результатов измерений).

В группу ТТ «не ТФЗМ» входят ТТ типа ТБМО, ТФРМ, ТФН и т.д.

Согласно источнику [6] на параметры качества масла оказывают влияние следующие факторы: класс напряжения трансформатора, структурно-групповой состав масла, срок его эксплуатации. Поэтому, дисперсионный анализ между будем рассчитывать внутри подвыборок, разделенных на группы по:

- типу трансформатора;

- марке масла;
- сроку эксплуатации.

Также, согласно исследованиям авторов [7] марки трансформаторного масла должны быть разделены на группы в соответствии с содержанием ароматических углеводородов (Са), так как этот показатель влияет на характер процессов старения масла и газовыделения:

- ГК, ВГ, АГК (Са=1,6-3%);
- ТСП(76), ТСП(90), Т-1500, Т-750, смесь масел (Са=9-15%);
- ТКп (Са=18%).

Масла ТСП(76), ТСП(90), Т-1500, Т-750, смесь масел для удобства объединим в группу марки масел «Остальные».

Срок эксплуатации был разбит на 4 периода с учетом интенсивности отказов ИТ и характерных периодов изменения Концентрац газов от срока эксплуатаций. Т.О согласно [6] для ТТ:

- от 0 до 4 лет – приработочный период;
- от 4 до 14 лет – период надежной работы ТТ;
- от 14 до 24 лет – период проведения средних/капитальных ремонтов;
- от 24 и более – период работы после ремонта.

Для ТН:

- от 0 до 5 лет – приработочный период;
- от 5 до 15 лет – период надежной работы ТТ;
- от 15 до 25 лет – период проведения средних/капитальных ремонтов;
- от 25 и более – период работы после ремонта.

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АРГ

Целью дисперсионного анализа является установление роли отдельных факторов в изменчивости того или иного признака. с помощью него также можно учесть и при необходимости исключить случайные факторы [8]. Согласно источникам [8, 9] дисперсионный анализ сводится к сравнению остаточной и факторной дисперсий по критерию Фишера-Снедекора для определенного уровня значимости. Далее определяли силу влияния рассматриваемого фактора, сравнивали полученное значение со значениями из таблицы Фишера-Снедекора.

Первый этап расчета заключался в выявлении влияния типа ИТ на концентрации растворенных газов (РГ) в масле из ТТ и ТН. Результаты дисперсионного анализа влияния типа ТТ и ТН

приведены в таблице 1 и таблице 2, соответственно для 110 кВ.

Как видно из таблиц 1 и 2 тип ИТ оказывает существенное влияние на концентрации РГ в масле, это также подтверждает мнение российских авторов [4, 5].

Таблица 1.

Результаты дисперсионного анализа влияния типа ТТ на концентрации РГ в масле

Газ	$F_{\text{Дисп.расчет}}$	$F_{\text{Финш.-Снед.}}$
H_2	837,4	2,99
CH_4	981,7	
CO	98,7	
CO_2	59,0	
C_2H_4	2,7	
C_2H_6	1044,8	
C_2H_2	2,4	

Как видно из таблиц 1 и 2 тип ИТ оказывает существенное влияние на концентрации РГ в масле, это также подтверждает мнение российских

авторов [4, 5]. В результате принято решение разделить ТТ на ТФЗМ и «неТФЗМ».

Таблица 2.

Результаты дисперсионного анализа влияния типа ТН на концентрации РГ в масле

Газ	$F_{\text{Дисп.расчет}}$	$F_{\text{Финш.-Снед.}}$
H_2	0,002	3,00
CH_4	8,786	
CO	257,388	
CO_2	412,246	
C_2H_4	1,806	
C_2H_6	3,141	
C_2H_2	14,617	

Следующий этап расчета – оценить влияние марки масла и срока эксплуатации на концентрации РГ в ТТ и ТН. На рис.1 и рис.2 представлены результаты дисперсионного анализа влияния марки масла на концентрации РГ в ТТ и ТН классом напряжения 110 кВ, соответственно.

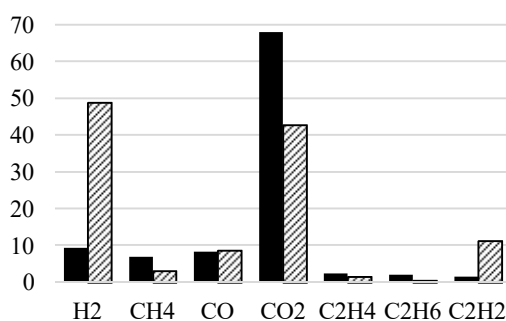


Рис. 1. Результаты расчета дисперсионного анализа влияния марки масла для разных типов ТТ 110 кВ в приработочный период (от 0 до 4 лет)

Дисперсионный анализ концентраций газов трансформатора тока типа ТФЗМ и «неТФЗМ» для ТТ 110 кВ показал, что увеличение эксплуатационного срока сильно влияет (F фишера снедекора) на концентрации газов H_2 , CH_4 , CO , CO_2 и C_2H_6 .

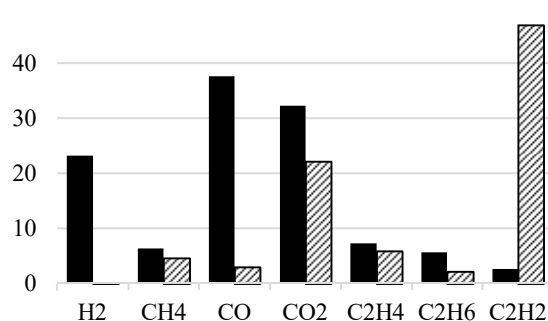


Рис. 2. Результаты расчета дисперсионного анализа влияния марки масла для разных типов ТН 110 кВ в приработочный период (от 0 до 5 лет)

Концентрации газов H_2 и CH_4 зависят марок масла ГК и «Остальные», а CO_2 и C_2H_6 от марок масла ТКп, и смеси (рис.3). Возможной причиной высокого содержания ацетилена и этана для ТТ типа ТФЗМ (особенно для марки масла ГК) является искрение на концах расщепленных проводов по причине конструктивной особенности [10].

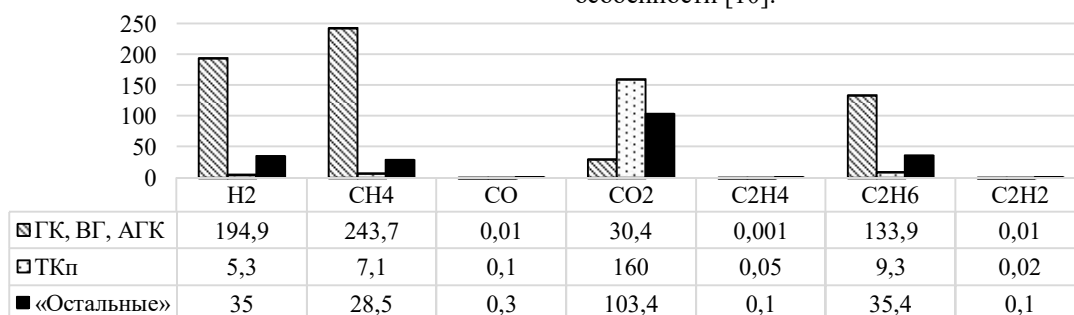


Рис. 3. Результаты расчета дисперсионного анализа влияния сроков эксплуатации для разных марок масел из ТФЗМ 110 кВ

Не исключено, что этому процессу может способствовать длительное хранение трансформаторов, заправленных трансформаторным маслом, при отрицательных температурах [10].

Из дисперсионного анализа для ТН следует, что увеличение эксплуатационного срока масла сильно влияет на концентрации газов H_2 , CH_4 , CO , CO_2 и C_2H_6 для типа НКФ, в отличие от НАМИ, в основном это связано с принципиальным различием в их конструкции.

ВЫВОДЫ

На основе проведенного исследования для дальнейшего расчета регламентированных значений можно сформулировать следующие критерии для ТТ:

- делить ТТ по типам и классу напряжения;
- для H_2 , CH_4 , CO и CO_2 производить расчет для всех марок масла, разделяя на 4 периода: 0-4 лет; 4-14 лет; 14-24 лет; 24-40 лет;
- для этилена и ацетилена выполнять расчет при различных группах (2 группы марок масла), не делая разбивку по срокам эксплуатации;
- для этана выполнять расчет для всех марок масла и периода эксплуатации: 0-14 и 14-30.

Для дальнейшего расчета регламентированных значений для ТН необходимо придерживаться следующих требований:

- делить ТН по типам;
- не делить по классам напряжения;
- концентрации ацетилена, этилена, этана, метана для НКФ делить по маркам масла нет необходимости, так как эти концентрации имеют слабую зависимость от этих параметров;
- концентрации CO и CO_2 в НКФ имеют сильную зависимость от срока эксплуатации, следовательно, их необходимо разделить на периоды: 0-5, 5-15 и свыше 15 лет;
- концентрации H_2 для НАМИ рассчитываем для марки масла ГК с учетом срока эксплуатации: 0-5 и 5-50 лет.

Для всех ИТ при дальнейших расчетах необходимо разделять на классы напряжения и тип трансформатора, так как эти фактор

существенно влияют на значение концентраций растворенных газов в масле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».
2. IEC 60599. Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis. 1999-03.
3. РД 153-34.0-46.302-00 «Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле».
4. Давиденко И.В. Определение критериев оценки состояния измерительных трансформаторов по результатам хроматографического анализа масла различных энергосистем. XI Междунар. научн.-технич. конф.— Трансформаторостроение — 2005, Украина, Запорожье.
5. Гречко О.Н., Курбатова А.Ф. Граничные значения характеристик изоляции нормально работающих маслонеполненных трансформаторов тока. // Семинар: Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. — СПб., 2001.
6. Давиденко И.В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонеполненного электрооборудования: дисс. докт.техн.наук. ФГАОУ ВПО «УрФУ», Екатеринбург, 2009.
7. Давиденко И.В. Идентификация дефектов в трансформаторах 35–500 кВ на основе АРГ [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.energoboard.ru/articles/720-identifikatsiya-defektov-v-transformatorah-35-500kv-na-osnove-arg.html> (дата обращения: 27.04.2018).
9. Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов в силовых трансформаторах, реакторах и газовом реле по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле. Отчет по НИР. Разработано: Инновационно – внедренческий центр «Электромехтехноком» ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого президента России Б. Н. Ельцина" г. Екатеринбург 2018 год.
10. Фомина И. А. Исследование коммутационных перенапряжений и старения изоляции в измерительных трансформаторах тока сверхвысокого напряжения: автореф. ... канд. техн. наук / И. А. Фомина ; Овсянников А. Г. (науч. рук.). - Новосибирск : Б.и., 2017. - 24 с. - 100 экз.